

法政大学学術機関リポジトリ  
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

# 体積変化に伴うひび割れ予測技術の高精度化に関する研究

著者	溝渕 利明
ページ	1-5
発行年	2013-05
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10114/9263">http://hdl.handle.net/10114/9263</a>

# 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：32675

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560466

研究課題名（和文） 体積変化に伴うひび割れ予測技術の高精度化に関する研究

研究課題名（英文） Study on improvement of precision for prediction technique of cracking with volume change of concrete

研究代表者

溝渕 利明（MIZOBUCHI TOSHIAKI）

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：60339504

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は、実構造物の温度応力挙動を室内でシミュレーション可能な試験装置を用いて、若材齢時でのコンクリートの収縮挙動について検討を行った。実験は、実構造物と同様の配合を用い、この装置で評価可能なコンクリートの熱及び力学特性を求め、計測結果と比較した。その結果、発生応力のある程度再現することができた。また、直接引張強度との比較検討を行い、直接引張強度での評価に対して有用なデータを取得することができた。

## 研究成果の概要（英文）：

In this study, for the purpose of improving the prediction technique of cracking with volume change of concrete structures, it is to develop the system which can simulate thermal stress in the laboratory while the system which conveniently evaluates the thermal and mechanical properties of concrete in the construction site is developed.

In this study, for the behavior of shrinkage of concrete at the early age, it was carried out to compare the data measured in the existing structures with experimental results using the thermal stress testing machine (TSTM) in which it is possible to simulate the behavior of thermal stress of existing structures in the laboratory. Specifically, it was carried out to compare the results of measurement by the existing structure with the thermal and mechanical properties of concrete in which it is possible to evaluate by this equipment such as the thermal expansion coefficient, Young's modulus, strain and stress in concrete using the mix proportion which is equivalent to the existing structure of the measurement. The investigations were carried out for three construction sites. As the results of the experiments, it was confirmed that it was possible to comparatively reproduce the stress in the concrete at the good accuracy by using the TSTM. By comparing the direct tension strength with experimental results, it was possible to acquire the useful data in which it was possible to evaluate the cracking using the direct tension strength.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総 計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：ひび割れ

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 温度ひび割れ予測解析の飛躍的進歩

マスコンクリート構造物のセメントの水和熱に起因する温度応力によって生じるひび割れの予測技術は、ここ 20 数年で飛躍的に進歩してきた。この背景として、昭和 61 年の土木学会コンクリート標準示方書において、温度応力を定量的に評価するための解析手法が示され、それまで定性的な表現しかなかったひび割れ評価に定量的評価法を導入したことが挙げられる。さらに、日本コンクリート工学協会が販売したプログラムによってパソコンで 2 次元の有限要素法の解析が可能となり、これまで大型計算機で膨大な費用と時間のかかった温度応力解析が非常に手軽に行えることができるようになったことも大きいといえる。これ以降、ひび割れ予測解析手法が急速に広まるとともに、その解析精度が著しく向上していったといえる。さらに、近年のパソコンの計算容量、計算速度が飛躍的に向上し、現在では節点数が数万点以上の 3 次元による解析が当たり前のようになってきており、20 年前と隔世の感があるといえる。

### (2) 温度ひび割れ制御に対するニーズ

このような解析技術の進歩にも拘わらず、いわゆる「品確法」の施行や技術提案を積極的に求めた総合評価システムの導入などに見られるように、コンクリート構造物の温度ひび割れ予測解析技術の発展が実構造物でのひび割れ制御に必ずしも効果を発揮していない面がみられるのも事実である。こうした状況に応え、日本コンクリート工学協会「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008」や、日本建築学会「マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説」が相次いで発刊されている。これらの指針類は、ひび割れ制御のためのガイドラインを共通して行える点で有効といえる。しかしながら、指針類に示されたコンクリートの設計用値はあくまでも平均的な値であり、個々の構造物に適合したものとは必ずしもなっていない。

上述したように、温度ひび割れの予測解析技術は飛躍的に進歩したものの、ひび割れ評価に重要な設計用値の整備が十分といえず、さらにひび割れ発生時期、ひび割れ幅を評価するためには、現状の予測解析技術だけでは不十分といえる。ひび割れの予測技術を向上させ、予測精度をさらに高度なものにするた

めには、施工前にひび割れに対して有用な情報を如何に得るかにかかっているといえる。そのためには、机上だけでなく実際に用いる材料・配合によるコンクリートの物性を現場の環境条件に近い状態で把握する必要があると考えた。さらに、事前にひび割れ発生の危険性、ひび割れ発生時期及び発生位置の予測が可能となれば、ひび割れ制御対策効果の立案やひび割れ発生後の処置についても事前に対応可能となるはずである。

## 2. 研究の目的

### (1) 事前に現場でも簡単に取得できるコンクリートの物性値評価システムの開発

ひび割れ予測解析を高精度化するためには、現場で用いるコンクリートの物性値を簡単にかつ的確に把握するためのシステムを開発する必要がある。本研究では、持ち運び可能な断熱容器を製作し、コンクリートの発熱特性及びコンクリート部材に近い温度履歴を受けた強度特性を把握するためのデータ収集及び分析可能なソフトを組み合わせた物性評価システムを開発する。

### (2) 現場でもできる直接引張強度試験結果を用いたひび割れ発生評価システムの開発

コンクリートの直接引張試験は試験法として非常に難しいが、現場でも簡便に行える装置の開発を行うとともに、実際の構造物でのひび割れ発生限界を把握できるための試験法の整備を行う。

### (3) 実構造物の温度応力挙動を室内でシミュレーション可能なシステムの開発

ひび割れ予測解析で得られた結果が実構造物でどの程度のひび割れの危険度となっているのか把握するために、実構造物で想定した構造物の温度挙動、拘束度を忠実に再現する温度応力シミュレーション装置を用いて、ひび割れ発生の有無の評価を行うことが可能なシステム構築を行う。

## 3. 研究の方法

本研究では、研究目的で挙げた 3 つの項目を達成させる必要がある。最初に現場でも簡便にコンクリート物性を評価するためのシステム作りを行う。対象とする構造物に適した断熱材の厚さを持つ断熱容器を用い、温度計測、力学試験を実施し、発熱特性及び力学特性を算定する。次いで、ひび割れ予測解析を実施する際に用いる引張強度を現場でも簡単に試験できる試験装置の開発を行う。次に、ひび割れ発生の危険度を評価するために、

対象となる構造物で用いる材料を使用した温度応力シミュレーション装置によるひび割れ危険度予知評価システムの構築を行う。

#### 4. 研究成果

(1) TSTMを用いたひび割れ発生限界について  
 現行指針類では、割裂引張強度を用いてひび割れ発生時の照査を実施している。ここでは、一例として普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比 50%、単位セメント量  $300\text{kg/m}^3$ 、打込み温度  $20^\circ\text{C}$ 、完全拘束での壁状構造物の部材中央をシミュレートした TSTM による試験結果と試験時に実施した割裂引張強度試験結果から算定した引張強度発現、TSTM で実施した配合と同一の条件での一軸直接引張試験結果から算定した引張強度発現及び日本コンクリート工学会ひび割れ制御指針 2008(以後指針と称する)で示されている引張強度発現とを比較した結果を図 1 に示す。

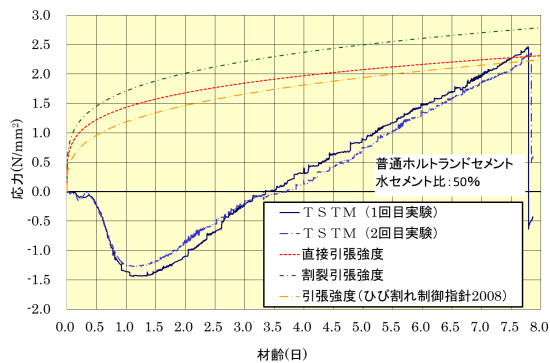


図 1 一軸直接引張試験及び引張強度発現の関係

(2) 温度応力解析に用いる設計用値の評価について

指針の引張強度発現式を用いて求めた割裂引張強度と直接引張試験による直接引張強度の関係を図 2 に示す。図 2 より、強度の低い領域では直接引張強度のほうが大きい値を示すものの、強度が高い領域になるに従い割裂引張強度が卓越する結果となった。およそ  $2.8\text{N/mm}^2$  で直接引張強度と割裂引張強度の大小が入れ替わっている。このことから、高強度のコンクリートにおいて、割裂引張試験では引張強度を過大に評価してしまう恐れがあると考えられる。

次に、指針のヤング係数発現式と直接引張強度試験による引張ヤング係数の関係を図 3 に示す。図 3 から、ヤング係数の大きい領域では指針のヤング係数発現式によるヤング係数の方が大きくなる結果となった。

以上の結果から、実験値と指針に示される値には差異がみられたことから、ひび割れ照査を行う際の温度ひび割れ指数にどのような影響を与えるのか検討するために、壁厚

1.0m、壁高 5.0m、長さ 20m の壁状構造物について 3 次元温度応力解析を行った。解析では、セメントの種類として普通ポルトランドセメント及び高炉セメント B 種を用い、圧縮強度発現式、引張強度と圧縮強度との関係式及びヤング係数と圧縮強度との関係式を全て指針に準拠した場合 (パターン 1)、圧縮強度発現式のみ指針に準拠し、引張強度及びヤング係数は、一軸直接引張強度及び引張ヤング係数を用いた場合 (パターン 2) 及び圧縮強度も室内試験結果を用いた場合 (パターン 3) の計 6 ケースについて検討を行った。上記に示した物性意外は、指針に準拠した。各ケースの最小ひび割れ指数を図 4 に示す。

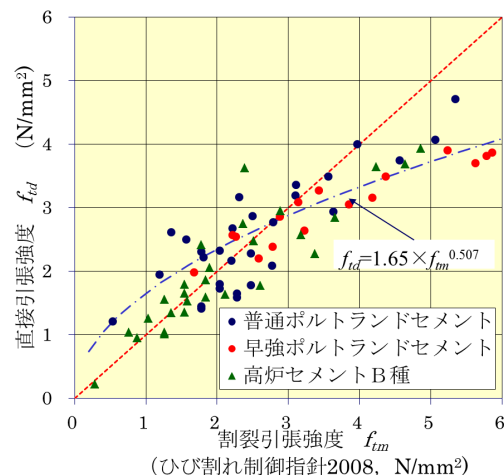


図 2 割裂引張強度と直接引張強度の関係

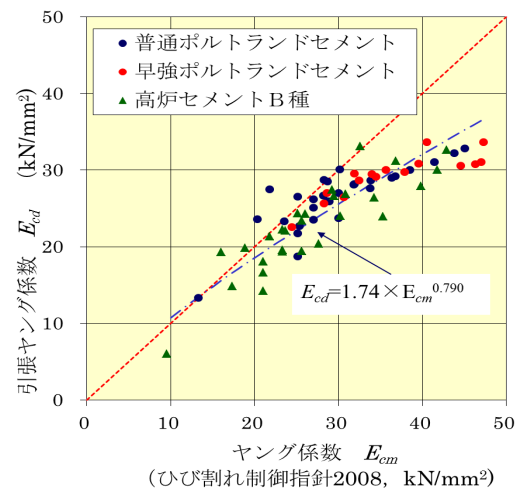


図 3 圧縮ヤング係数と引張ヤング係数の関係

図 4 から、一軸直接引張強度及び引張ヤング係数を用いた場合、指針に準拠した場合よりも普通ポルトランドセメント及び高炉セメント B 種ともひび割れ指数が大きくなる結果となった。これは、現行指針が若干安全側の評価を行っていることを示すものである。事前解析では安全側の評価を行うことは

ひび割れ制御の観点からは意義があるといえるが、過度になると無駄な制御対策費用が掛かることとなる。また、解析期間を長期とした場合、前述した引張強度とヤング係数の比較結果から危険側の評価を行う可能性があり、簡易物性評価及び直接引張による物性評価を行う必要があるといえる。

### (3) まとめ

現行の指針類では、温度ひび割れ照査に用いる設計用値のうち、引張強度に割裂引張強度を用い、ヤング係数に圧縮ヤング係数を用いているが、割裂引張強度は直接引張強度に比べて大きいことが指摘されており、温度ひび割れ照査においてはこの点を留意したものとなっている。

本研究では、比較的簡便に直接引張強度を取得できる装置を用いて、一軸直接引張強度及び引張試験時に得られた引張ヤング係数と現行指針類のひとつである指針での引張強度及びヤング係数を比較するとともに、それらを設計用値として壁状構造物を用いて温度応力解析を行い、比較検討を行った。その結果、一軸直接引張強度は割裂引張強度に比べて小さい傾向にあるものの、引張ヤング係数も圧縮ヤング係数に比べて小さいことから、今回対象とした材料・配合、構造物においてはひび割れ照査を行う最小ひび割れ指数に大きな差異が見られない結果となった。ただし、過度な制御対策を講じる可能背があること及び長期材齢においては現行指針のままでは危険側の評価を行う可能性もあり、本研究で提案した簡易物性評価及び直接引張試験を適用していく必要があることを示唆することができた。しかしながら、本検討ではごく限られた範囲での検討であることから、さらに多くの検討条件での比較を行う必要があるといえる。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 11 件)

- ① 橋本亮良, 溝渕利明, フライアッシュ多量添加によるコンクリートのひび割れ抑制効果に関する検討, コンクリート工学年次論文集 第 34 巻, 査読あり, 2012.07.06, 広島国際展示場
- ② 兄父貴浩, 新井淳一, 仙場亮太, 溝渕利明, 温度ひび割れ照査に用いる設計用値に関する一考察, コンクリート工学年次論文集 第 35 巻, 査読あり, 2013.07.13, 名古屋国際展示場
- ③ 橋本亮良, 浅井壮, 鯉渕清, 溝渕利明,

高エーライトセメントの諸物性, 第 66 回セメント技術大会, 2012.05.22, 東京, ホテルメトロポリタン

④ 橋本亮良, 二戸信和, 大川裕, 溝渕利明, 高エーライトセメントを用いた高炉コンクリートの特性, 第 67 回土木学会年次学術講演会, 2012.09.07, 名古屋大学

⑤ 浅井壮, 溝渕利明, 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの温度・湿度を考慮した力学的特性による温度ひび割れ評価に関する検討, 第 67 回土木学会年次学術講演会, 2012.09.07, 名古屋大学

⑥ 竹内直也, 室野井敏之, 満木泰郎, 溝渕利明, 簡易断熱容器を用いたマスコンクリートの物性評価に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1295-1300, 査読あり, 2011.07.13, 大阪国際会議場

⑦ 齋藤尚, 鈴木康範, 溝渕利明, 層状マスコンクリート構造物を対象とした温度ひび割れ指数の簡易評価式の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1319-1324, 査読あり, 2011.07.12, 大阪国際会議場

⑧ 竹内直也, 室野井敏之, 満木泰郎, 溝渕利明, フライアッシュを多量添加による温度ひび割れ抑制効果に関する検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, V-126, pp.251-252, 2011.09.14, 愛媛大学

⑨ 浅井壮, 綱島隆将, 溝渕利明, 若材齢時コンクリートの引張特性に関する実験的検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, V-296, pp.591-592, 2011.09.13, 愛媛大学

⑩ 赤熊宏哉, 竹内直也, 溝渕利明, 温度応力解析に用いる設計用値取得のための簡易物性評価試験法, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, V-315, pp.629-630, 2011.09.14, 愛媛大学

⑪ 小菅望, 竹内直也, 満木泰郎, 溝渕利明, 湿度条件を考慮した高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの力学的特性, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, V-505, pp.1009-1010, 2011.09.13, 愛媛大学

〔図書〕(計 1 件)

今本啓一, 閑田徹志, 溝渕利明著, 十河茂幸, 河野広隆編著, “コンクリートの初期ひび割れ対策”, セメントジャーナル社, 2012.03, pp.37-72, pp.113-124

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

溝渕 利明 (MIZOBUCHI TOSHIAKI)

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：60339504